

**STUDI PERUBAHAN BEBAN LISTRIK TERHADAP EFISIENSI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS (PLTG) PT.PLN (PERSERP)
WILAYAH SULAWESI SELATAN**

Bau Puspa Ratu

Jurusan Pendidikan Teknik Elektro
Jl. Daeng Tata Raya Parangtambung Makassar

ABSTRAK

Studi Perubahan Beban Listrik Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) pada Pembangkitan I Tello PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

Untuk mengetahui efisiensi generator pada pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) Unit Pembangkitan I Tello PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan yang meliputi daya masukan (P_{in}), daya keluaran (P_{out}), rugi mekanikal maupun rugi elektrik. Berdasarkan hasil analisis perhitungan efisiensi generator maka apabila semakin tinggi beban pemakaian listrik maka semakin rendah efisiensi generatornya dan jika efisiensi generator rendah maka daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan generator rendah dan begitupun sebaliknya, hal ini dipengaruhi oleh rugi-rugi tembaga pada generator apabila besar rugi-rugi tembaga maka daya keluaran (P_{out}) dari generator akan semakin kecil dan apabila rugi-rugi tembaganya kecil maka daya keluaran (P_{out}) dari generator akan semakin besar, dimana efisiensi pada GE I yang diperoleh sebesar 76,48% dan untuk GE II yaitu sebesar 74,39%.

Kata Kunci: *PLTG, Generator, Efisiensi*

ABSTRACT

Study of Changes in Electrical Load on Efficiency of Gas Power Plant (PLTG) at Generation I Tello PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

To determine the efficiency of the generator at the gas power plant (PLTG) Generation Unit I Tello PT. PLN (Persero) South Sulawesi Region which includes input power (P_{in}), output power (P_{out}), mechanical losses and electrical losses. Based on the results of the analysis of generator efficiency calculations, the higher the load on electricity consumption, the lower the efficiency of the generator and if the efficiency of the generator is low, the output power (P_{out}) generated by the generator is low and vice versa, this is influenced by copper losses in the generator if it is large. Copper losses, the output power (P_{out}) of the generator will be smaller and if the copper losses are small, the output power (P_{out}) of the generator will be even greater, where the efficiency at GE I obtained is 76.48% and for GE II which is equal to 74.39%.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jeremias Leda (2010: 5) Sistem ketenagalistrikan dapat dipergunakan sebagai indikator pertumbuhan ekonomi. Produk Domestik Bruto (PDB) sebagai indikator pertumbuhan ekonomi pada dasarnya berkaitan erat dengan penyediaan tenaga listrik, sedangkan konsumsi listrik dalam kWh per kapita menyatakan tingkat industrialisasi yang telah dicapai.

Seirama dengan perkembangan kebutuhan tenaga listrik oleh pelanggan, sistem tenaga listrik di Indonesia berkembang pula mengikuti irama perkembangan pemakaian tenaga listrik yang dilayaninya. Tenaga listrik dibangkitkan oleh pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP dan PLTD, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan yang ada di pusat-pusat listrik.

Menurut Jeremias Leda (2010: 7) Sistem kelistrikan Sulawesi

Selatan saat ini merupakan sistem ring, yang terdiri dari beberapa pusat pembangkit, gardu induk dan jaringan transmisi yang saling berhubungan dengan tegangan kerja 30 kV, 70 kV dan 150 kV. PT. PLN Sulawesi Selatan memiliki beberapa pembangkit yang beroperasi untuk menyuplai tersedianya pasokan daya listrik bagi konsumen.

Adapun topologi pembangkit utama sistem Sulawesi Selatan tersebut terdiri dari milik PLN yaitu PLTA Bakar dengan daya 2x63 MW, Tello (D/U/G) 132 MW, dan PLTA Bilibili 20 MW, serta milik swasta yaitu PLTGU Sengkang 3x65 MW, PLTD Suppa 62 MW, PLTD Sewa Tello 10 MW.

Menurut Habibah (2006), Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) adalah pembangkit tenaga listrik yang menggunakan gas sebagai bahan bakar utama, yang prinsip kerjanya penekanan udara dan pemanasan udara dengan penambahan bahan bakar, gas panas tersebut digunakan untuk memutar turbin yang digunakan sebagai penggerak mula pemutar generator pembangkit. Gas

panas yang dihasilkan dalam ruang bakar dapat meningkatkan temperatur hingga 1100°C, dengan temperatur yang sedemikian tinggi tersebut perlu dilakukan pemilihan material *hot gas patch*, sehingga material tersebut dapat dipergunakan pada kondisi tersebut secara aman dan handal.

Menurut Syarifuddin Nojeng (2007: 117-123), PLTG Tello adalah pembangkit listrik yang termahal biaya operasinya khususnya biaya bahan bakar yang dikonsumsi. Pengoperasiannya diinginkan agar unit PLTG beroperasi dalam waktu yang sependek mungkin, misalnya pada waktu beban puncak atau pada waktu ada kerusakan atau gangguan unit lain (sebagai cadangan).

Kebutuhan akan listrik semakin lama semakin meningkat sejalan dengan perkembangan kemajuan industri dan semakin bertambahnya beban karena populasi manusia semakin bertambah. Semakin meningkatnya kebutuhan listrik masyarakat khususnya di kota makassar dan sekitarnya, maka pemerintah dalam hal ini PLN membangun Pembangkit Listrik

Tenaga Gas (PLTG) Alsthom dan General Electric (GE) Unit I pada tahun 1983 dengan daya terpasang 14,46 MW. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Alsthom merupakan salah satu pembangkit pada unit Pembangkitan I Tello PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan yang telah beroperasi lebih dari 30 tahun, karena sudah tergolong tua otomatis kinerja peralatan seperti generator pada pembangkit listrik tidak sama seperti awal pembangunannya. Oleh karena itu, kualitas dari generator sebagai penghasil energi listrik tersebut juga harus diperhatikan, terutama efisiensinya.

Jeremias Leda (2010: 12) Secara garis besar proses operasi PLTG yaitu pertama Proses *Starting*, dimana pada proses start awal untuk memutar turbin menggunakan mesin diesel sampai putaran poros turbin mencapai putaran 3.400 rpm maka secara otomatis diesel dilepas dan akan berhenti. Kedua Proses Kompresi, udara dari luar kemudian dihisap melalui air inlet oleh kompresor dan masuk ke ruang bakar dengan cara dikabutkan bersama

bahan bakar lewat *nozzle* secara terus menerus dengan kecepatan tinggi. Ketiga Transformasi Energi Thermis Ke Mekanik, kemudian udara dan bahan bakar dikabutkan ke dalam ruang bakar diberi pengapian (*ignition*) oleh busi (*spark plug*) pada saat permulaan pembakaran. Pembakaran seterusnya terjadi terus menerus dan hasil pembakarannya berupa gas bertemperatur dan bertekanan tinggi dialirkan ke dalam cakram melalui sudu-sudu yang kemudian diubah menjadi tenaga mekanis pada perputaran porosnya. Keempat Transformasi Energi Mekanik Keenergi Listrik, poros turbin berputar hingga 5.100 rpm, yang sekaligus memutar poros generator sehingga menghasilkan tenaga listrik. Putaran turbin 5.100 rpm diturunkan oleh load gear menjadi 3000 rpm, dan kecepatan putaran turbin ini dipergunakan untuk memutar generator. Kelima Udara luar yang dihisap masuk *compressor*, kemudian dimanfaatkan hingga pada sisi keluarannya menghasilkan tekanan yang cukup tinggi. Bersama dengan udara yang bertekanan tinggi, bahan bakar dikabutkan secara terus

menerus dan hasil dari pembakaran tersebut dengan suatu kecepatan yang tinggi mengalir dengan perantaraan *transition piece* menuju *nozzle* dan sudu-sudu turbin dan pada akhirnya keluar melalui *exhaust* dan dibuang ke udara bebas.

Kondisi pengoperasian PLTG yang dilakukan secara terus menerus dan pengaruh keadaan sekitar (udara luar) yang cenderung berubah maka akan menyebabkan kemampuan (*performance*) suatu sistem PLTG ikut berubah.

Berdasarkan uraian tersebut, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian pada PLTG Tello dengan judul Studi Perubahan Beban Listrik Terhadap Efisiensi Generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah tersebut, maka dibuat rumusan yaitu:

1. Berapa daya masukan (P_{in}), daya keluaran (P_{out}) pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas

(PLTG) Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan?

2. Berapa efisiensi yang dihasilkan Generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti membatasi masalah hanya pada efisiensi generator PLTG Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan, maka terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan, diantaranya: daya masukan (P_{in}), daya keluaran (P_{out}), rugi mekanikal dan rugi elektrik.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui nilai daya masukan (P_{in}), daya keluaran (P_{out}) pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan.
2. Untuk mendapatkan nilai efisiensi kerja generator PLTG Pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan.

II. TINJAUAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Menurut Sijabat (2010), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan sebuah pembangkit listrik yang menggunakan mesin turbin gas sebagai penggerak generatornya. Turbin gas dirancang dan dibuat dengan prinsip kerja yang sederhana dimana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi mekanis dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) umumnya menggunakan bahan baku utama yaitu gas alam sebagai pendorong turbin gas dengan tekanan tinggi. Dengan begitu maka dimanfaatkan untuk dapat menggerakkan turbin hingga listrik pun terbangkit.

Menurut Jeremias Leda (2010: 7), sistem kelistrikan sulawesi selatan saat ini merupakan sistem ring, yang terdiri atas beberapa pembangkit, gardu induk dan jaringan transmisi yang saling berhubungan dengan tegangan kerja 30 kV dan 150 kV.

PT. PLN Sulawesi Selatan memiliki beberapa pembangkit yang beroperasi untuk menyuplai tersedianya pasokan daya listrik bagi konsumen. Adapun topologi pembangkit utama sistem Sulawesi Selatan terdiri dari milik PLN yaitu PLTA Bakar dengan daya 2x63 MW, Tello (D/U/G) 132 MW dan PLTA Bilibili 20 MW, serta milik swasta yaitu PLTGU Sengkang 3x65 MW, PLTD Suppa 62 MW, PLTD sewa Tello 10 MW. PLTG adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan turbin sebagai prime mover-nya dengan gas sebagai fluida kerjanya. Dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, turbin gas merupakan pembangkit sederhana yang terdiri atas empat komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, turbin gas dan generator.

2.2 Beban Listrik

Menurut Gatut Susanta dan Sasi Agustoni dalam Maalik Ghaisan (2017: 19), listrik adalah sumber energi yang disalurkan melalui kabel atau penghantar lainnya. Menurut Hasan Amrin dalam Mochamad Fauzan Khalid (2016: 57), mengemukakan bahwa listrik adalah

suatu bentuk energi dan listrik hanya salah satu dari banyak bentuk energi.

Beban listrik adalah sesuatu yang harus dipikul oleh pembangkit listrik. Dalam aplikasi sehari-hari dapat digambarkan bahwa beban listrik adalah peralatan yang menggunakan daya listrik agar bisa berfungsi. Contoh beban listrik dalam rumah tangga diantaranya televisi, lampu penerangan, setrika, mesin cuci, lemari es, dan lain-lain.

2.3 Efisiensi

Menurut Sulasno (2009: 122), efisiensi pada bidang kelistrikan yaitu perbandingan antara daya keluaran terhadap daya masukan dinyatakan dalam persen (%). Daya masukan dihitung dari daya keluaran ditambah rugi daya, yang terdiri dari rugi tetap (rugi besi dan gesekan) dan rugi tidak tetap (rugi tembaga pada sikat), karena rugi tembaga adalah rugi daya akibat adanya tahanan pada kumparan jangkar dan medan.

Menurut Lubis (2011: 32), efisiensi ialah suatu proses internal atau sumber daya yang diperlukan oleh organisasi untuk menghasilkan satu satuan output. Oleh sebab itu

efisiensi dapat diukur sebagai ratio output terhadap input.

Dari beberapa pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa efisiensi adalah perbandingan antara daya keluaran (output) terhadap daya masukan (input) dinyatakan dalam persen (%), efisiensi merupakan komponen input yang digunakan seperti waktu, tenaga dan biaya dapat dihitung penggunaannya serta dapat diukur sebagai ratio output terhadap input. Efisiensi pada PLTG terbagi atas tiga bagian yaitu, Efisiensi Generator, Efisiensi Turbin dan Efisiensi Pembangkit.

a. Efisiensi Generator

Generator berfungsi untuk mengkonversikan energi mekanik (putaran poros) dari turbin menjadi energi listrik dengan membuat poros generator dengan poros turbin berada dalam satu poros dengan cara dikopel.

Menurut Arxhie W.Culp, JR., Ph.D. (1996: 420), mutu sebuah alternator sangat ditentukan oleh besarnya efisiensi alternator tersebut. Makin besar efisiensi sebuah alternator, maka dikatakan alternator tersebut makin bagus. Efisiensi alternator ini dihitung berdasarkan

perbandingan antara daya keluaran alternator terhadap daya masukan awal alternator, yang dapat dijabarkan dalam persamaan (2.4), sedangkan untuk persamaan (2.1) yaitu untuk daya keluaran pada generator, persamaan (2.2) untuk rugi-rugi tembaga pada generator, persamaan (2.3) untuk tegangan jangkar pada generator. Beberapa bentuk persamaan sebagai berikut:

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$P_{cu} = I_a^2 \times R_a \dots \dots \dots (2.2)$$

$$V_t = I_a R_a \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

P_{out} = Daya keluaran pada terminal alternator (watt)

P_{in} = Daya masukan pada rotor alternator (watt)

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga pada alternator (watt)

P_{loss} = Rugi-rugi pada alternator (watt)

I_a = Arus jangkar pada alternator (ampere)

R_a = Tahanan jangkar pada alternator (ohm)

V_t = Tegangan jangkar pada alternator (volt)

Catatan: 1. KKal = 1.16×10^3 KWh³

Hampir semua energi listrik yang dihasilkan di dunia, diproduksi dengan generator listrik atau alternator. Sistem ini mengikuti hukum dasar yang sama dengan motor listrik. Biasanya mempunyai efisiensi konversi antara 50% (persen) untuk generator kecil sampai 90% (persen) lebih untuk generator komersial yang besar. Jika suatu koil diputar diantara kutub-kutub suatu elektromagnet atau magnet permanen, keluaran rotor bisa berbentuk arus bolak balik atau arus searah, tergantung dari apakah *slip ring* (ac) atau komutator (dc) yang dipakai.

b. Efisiensi Turbin

Turbin adalah mesin penggerak, dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda/poros turbin. Pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi, melainkan gerakan rotasi. Bagian turbin yang berputar biasa disebut dengan istilah rotor/roda/poros turbin, sedangkan bagian turbin yang tidak berputar dinamai dengan istilah stator. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya

yang digerakkannya atau memutar bebannya yaitu generator.

Menghitung efisiensi turbin uap dengan rumus:

Efisiensi Total =

$$\frac{\text{output turbin}}{\text{input turbin}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

Output turbin = Energi panas yang efektif digunakan turbin (BTU/jam)

Input turbin = Energi panas yang dibutuhkan turbin (BTU/jam)

c. Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Energi masukan pada PLTG adalah pemasukan sejumlah bahan bakar pada ruang bakar ketel uap dan dikonversikan melalui media uap sehingga keluaran dari unit pembangkit ini adalah berupa daya listrik pada generator listrik. Keluaran dari generator listrik berupa GGL listrik sebesar:

$$E = 4.44 \cdot f \cdot \Phi \cdot N \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$E = 2.22 \cdot f \cdot \Phi \cdot Z \text{ (Volt)} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

E = GGL induksi (Volt)

F = Frekuensi listrik (Hz)

Φ = Besarnya fluks magnet (Weber)

N = Jumlah lilitan

Z = Jumlah sisi lilitan

Efisiensi keseluruhan pada PLTG mulai dari bahan bakar sampai pada energi listrik yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

P_{out} = Energi keluaran pada generator
(Watt)

P_{in} = Energi masukan pada boiler/ketel uap (kkal/jam) atau kJ/jam

Catatan:

1 watt = 1 Joule/detik

1 kkal = 4186 Joule

1 Joule = 0.24 kal

Menurut Dr. Cahyadi (2015: 49), Efisiensi untuk Pembangkit kebanyakan ditentukan dengan metode tidak langsung yaitu mempertimbangkan rugi-rugi pada steam generator. Kerugian tersebut antara lain: kerugian karena pembakaran karbon yang tidak terbakar (K_u), kerugian karena panas sensible pada *slag* (K_s), kerugian karena gas buang (K_F) dan kerugian karena radiasi dan konveksi (K_R). berdasarkan beberapa kerugian tersebut maka efisiensi Pembangkit

uap dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta_B = 1 - K_u - K_s - K_F - K_R \dots \dots \dots (2.9)$$

2.4 Generator

Menurut Risdiyani Chasanah (2015: 135), generator (dinamo) adalah alat untuk mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator yaitu kumparan diputar dalam medan magnet sehingga fluks magnetnya berubah-ubah dan menimbulkan GGL induksi.

Generator arus bolak-balik jangkarnya sebagai stator tidak bergerak sedangkan sebagai rotor adalah kutub-kutubnya. Atas dasar alasan ekonomis atau keperluan khusus saja generator arus searah dibuat, sedangkan untuk kapasitas daya yang besar lebih menguntungkan generator arus bolak-balik tiga fasa daripada satu fasa. Bagian utama generator sinkron adalah juga terdiri dari rotor dan stator. Rotor terdiri dari 2 macam: a) Kutub menonjol; b) Kutub silindris atau bulat.

Menurut Abdul Kadir (1983: 29), sebuah mesin dengan satu pasangan kutub $p = 1$, mempunyai 3.000 putaran per menit, bila frekuensi $f = 50$ Hz. Bila frekuensi $f = 60$ Hz, maka $n = 3600$ putaran per menit. Untuk pasangan kutub $p = 2$, putaran menjadi 1.500 per menit untuk $f = 50$ Hz dan 1.800 per menit untuk $f = 60$ Hz. Dan seterusnya.

Tabel 2.1
Standarisasi Putaran Mesin
Serempak Untuk 50 Hz Menurut
Hutte

2p	n (rpm)	2p	n (rpm)
2	3.000	28	214
4	1.500	32	188
6	1.000	36	167
8	750	40	150
10	600	48	125
12	500	56	107
16	375	64	94
20	300	72	83
24	250	80	75

Sumber: Abdul Kadir, (1983: 29)

Daya sebuah generator dinyatakan dalam rumus berikut:

$$P = V \cdot I \cos \phi \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

- P = daya (watt)
- V = tegangan (Volt)
- I = arus (Ampere)
- $\cos \phi$ = faktor daya

Daya nominal sebuah generator biasanya dinyatakan dalam kW atau MW, ataupun dalam kVA atau MVA. Daya nominal ditentukan oleh suatu suhu kerja dari kumparan, sedangkan faktor daya biasanya adalah sekitar 0,8. Daya bangkit sebuah generator dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$MW = MVA \times PF \text{ atau } MVA = \frac{MW}{PF} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

- MW = Daya aktif pada pembangkit (Watt)
- MVA = Daya semu pada pembangkit (Volt ampere)
- PF = Faktor daya

Efisiensi sebuah generator dinyatakan dalam rasio keluaran dibagi masukan. Keluaran yang bermanfaat merupakan seluruh masukan dikurangi rugi-rugi.

Efisiensi mesin, seperti halnya pada transformator atau piranti pengubah tenaga lainnya, dinyatakan oleh

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Masukan}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Yang dapat juga dinyatakan sebagai

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Masukan rugi-rugi}}{\text{Masukan}} = 1 -$$

$$\frac{\text{Rugi-rugi}}{\text{Masukan}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Keluaran}}{\text{Keluaran} + \text{Rugi-rugi}} \dots\dots (2.14)$$

Bentuk yang diberikan pada persamaan 2.12 dan 2.13 sering dipergunakan pada mesin listrik, karena efisiensi pada umumnya ditentukan pengukuran rugi-ruginya, bukan langsung mengukur masukan dan keluarannya dalam keadaan dibebani.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan, kota Makassar, yang dilaksanakan pada bulan Februari sampai Mei 2021.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

- Observasi
- Wawancara
- Dokumentasi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. General Electric (GE) Unit I

Hasil yang diperoleh pada generator pembangkit PLTG Tello

Unit I dengan daya 45,4 MW dan faktor dayanya 0,8 dengan menggunakan persamaan (2.11) maka bahwa secara teknis generator pembangkit tersebut hanya mampu menghasilkan daya semu sampai sebesar 56,75 MVA. Efisiensi generator berbeda setiap jamnya karena dipengaruhi oleh tegangan jangkar, arus jangkar, tahanan jangkar, rugi tembaga dan daya outputnya sehingga bervariasi dengan menghasilkan efisiensi terendah sebesar 69,27% pada hari Kamis, 23 April 2015 yaitu pada jam operasi 19.00, dan efisiensi terbesar yang dihasilkan yaitu 88,06% pada jam operasi 03.30, seperti pada tabel berikut.

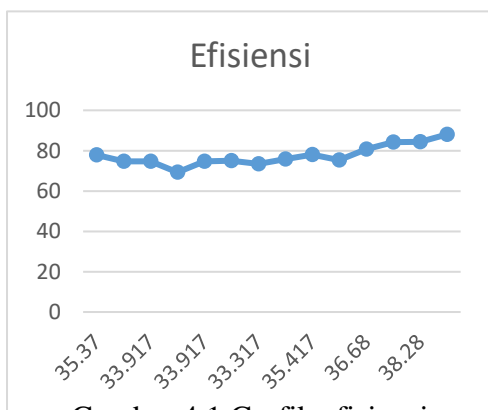
Tabel 4.1
Data Perhitungan Efisiensi GE
Unit I

Jam	Pout (MW)	Pin (MW)	Efisiensi
16.00	35.37	45.404	77.9
17.00	33.917	45.404	74.7
18.00	33.917	45.404	
19.00	31.45	45.402	69.27
20.00	33.917	45.404	74.7
00.00	34.077	45.405	75.05
01.00	33.317	45.403	73.38

01.30	34.437	45.401	75.85
02.30	35.417	45.400	78.01
03.30	34.237	45.401	75.41
12.00	36.68	45.401	80.79
13.00	38.247	45.402	84.24
14.00	38.28	45.403	84.31
15.00	39.98	45.400	88.06
Rata-rata	35,231	45,402	78,097

Sumber: Hasil olah data, 2021

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 23 April 2015 dengan efisiensi sebesar 69,27%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi sebesar 88,08%.



Gambar 4.1 Grafik efisiensi generator

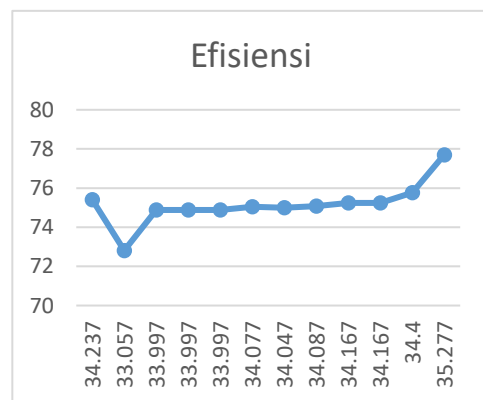
Tabel 4.2
Data Perhitungan Efisiensi GE
Unit I

Jam	Pout (MW)	Pin (MW)	Efisiensi
17.30	34.237	45.401	75.41
18.00	33.057	45.402	72.81

18.30	33.997	45.402	74.88
19.00	33.997	45.402	74.88
19.30	33.997	45.402	
20.00	34.077	45.406	75.05
20.30	34.047	45.402	74.99
21.00	34.087	45.401	75.08
21.30	34.167	45.405	75.25
22.00	34.167	45.405	75.25
22.30	34.4	45.401	75.77
23.00	35.277	45.402	77.7
Rata-rata	34,125	45,402	75,584

Sumber: Hasil olah data, 2021

Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 10 Agustus 2015 dengan efisiensi sebesar terendah 72,81%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi sebesar 77,7%.



Gambar 4.2 Grafik efisiensi generator

Efisiensi generator setiap saat berbeda-beda karena dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain arus

stator yang sangat berhubungan erat dengan beban, dimana beban disini yaitu beban induktif, beban resistif, dan beban kapasitif, dan disisi lain yaitu tegangan dari generator itu sendiri, tahanan jangkar, maupun rugi-rugi yang terjadi selama generator bekerja.

b. General Electric (GE) Unit II

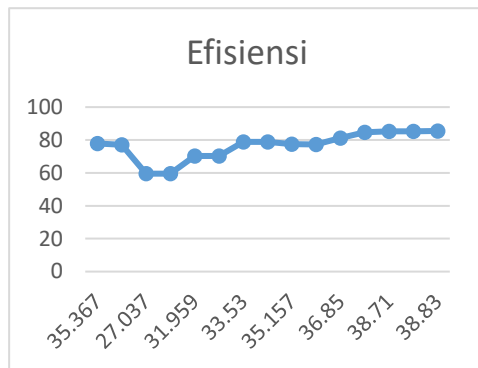
Hasil yang diperoleh pada generator PLTG Tello Unit II dengan daya 45,4 MW dan faktor dayanya 0,8 dengan menggunakan persamaan (2.14) secara teknis generator pembangkit tersebut hanya mampu menghasilkan daya semu sampai sebesar 56,75% Efisiensi generator berbeda setiap jamnya karena dipengaruhi oleh tegangan jangkar, arus jangkar, tahanan jangkar, rugi tembaga, dan daya outputnya sehingga bervariasi dengan menghasilkan efisiensi terendah sebesar 59,55% pada hari Kamis, 23 April 2015 yaitu pada jam operasi 18.00, dan efisiensi terbesar yang dihasilkan yaitu 85,52% pada jam operasi 02.00, seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4.3
Data Perhitungan Efisiensi GE
Unit II

Jam	Pout (MW)	Pin (MW)	Efisiensi
23.00	35,367	45,401	77,9
24.00	35,037	45,402	77,17
18.00	27,037	45,402	59,55
19.00	27,037	45,402	59,55
20.00	31,959	45,403	70,39
20.30	31,959	45,403	70,39
21.00	33,53	42,524	78,85
21.30	33,53	42,524	78,85
22.00	35,157	45,404	77,43
22.30	35,098	45,404	77,3
23.00	36,85	45,404	81,16
23.30	38,46	45,402	84,71
24.00	38,71	45,402	85,26
01.00	38,71	45,402	85,26
02.00	38,83	45,405	85,52
Rata-rata	34,485	45,019	76,619

Sumber: Hasil olah data, 2021

Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 23 April 2015 dengan efisiensi sebesar 59,55%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi sebesar 85,52%.



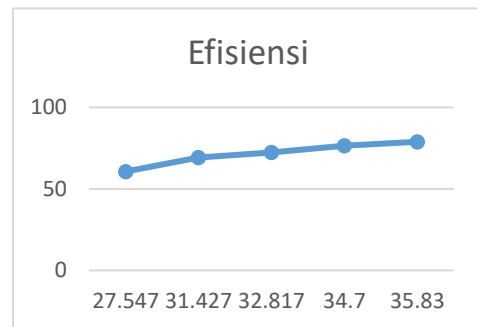
Gambar 4.3 Grafik efisiensi generator

Tabel 4.4
Data Perhitungan Efisiensi GE
Unit II

Jam	Pout (MW)	Pin (MW)	Efisiensi
19.00	27.547	45.404	60.67
20.00	31.427	45.401	69.22
21.00	32.817	45.402	72.28
22.00	34.7	45.401	76.43
23.30	35.83	45.400	78.92
Rata-rata	32,464	45,401	71,504

Sumber: Hasil olah data, 2021

Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi terendah terjadi pada tanggal 23 April 2015 dengan efisiensi sebesar 60,67%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi sebesar 78,92%.



Gambar 4.4 Grafik efisiensi generator

Dalam mengkonversikan energi mekani menjadi energi listrik, generator mengalami kehilangan daya (*losses*) oleh karena itu, efisiensi generator tidak bisa mencapai 100%.

Menurut (SJ. Chapman, 2019) menjelaskan bahwa terdapatnya rugi-rugi generator diantaranya rugi-rugi panas pada kumparan (*winding*), rugi-rugi pada inti generator (*core*), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan dari inti dan kumparan generator dipengaruhi oleh sistem pendingin generator. Oleh karena itu terdapatnya perubahan efisiensi generator saat beroperasi.

V. PENUTUP

➤ Kesimpulan

1. Semakin tinggi beban pemakaian listrik maka semakin rendah efisiensi generatornya dan begitu

juga sebaliknya semakin kecil beban pemakaian listrik maka semakin besar efisiensi dari generator tersebut.

2. Efisiensi generator rendah jika daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan generator rendah dan sebaliknya, hal ini dipengaruhi oleh rugi-rugi tembaga pada generator apabila besar rugi-rugi tembaga maka daya keluaran dari generator akan semakin kecil dan apabila rugi-rugi tembaganya kecil maka daya keluaran dari generator akan semakin besar.
3. Generator PLTG Tello berfungsi sebagai *Line Charging* pada saat terjadi *Black Out* sehingga membantu memulihkan sistem kelistrikan yang berdampak gangguan sehingga mesin pembangkit PLTG Tello berfungsi saat keadaan darurat.

➤ Saran

1. Beban diusahakan dibawah kemampuan daya keluaran dari generator karena mengingat faktor usia generator yang sudah tua dan tidak mampu lagi menghasilkan daya maksimal, jika beban melebihi kapasitas daya keluaran

generator maka akan terjadi kenaikan suhu yang dapat menyebabkan generator drop.

2. Dari sisi pengoperasian dilakukan pengecekan peralatan mesin pembangkit sebelum dan sesudah beroperasi dan agar mesin PLTG bekerja secara optimal maka harus dilakukan pemeliharaan secara rutin.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.Dunia, Firdaus dan Wasilah Abdullah. 2009. *Akuntansi Biaya*. Jakarta: Salemba Empat.
2. Abdullah, Mikrajuddin. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: ITB.
3. Achyanto, Djoko. 1986. *Mesin-Mesin Listrik Edisi Ke-Empat*. Jakarta: Erlangga.
4. Adisasmita, Rahardjo. 2011. *Manajemen Pemerintahan Daerah "Efektivitas dan Efisiensi"*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
5. Archich W Culp Jr. 1996. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga.
6. Arfan, Lubis Ikhsan. 2011. *Akuntansi Keperilakuan Efisiensi Proses Internal atau Sumber*

- Daya, Cetakan Kedua. Jakarta: Salemba Empat.
7. Baslim, Abbas. 1952. *Mesin Arus Bolak-Balik*. Jakarta: Bumi Aksara.
 8. Budiman, Aris, Hasyim Asy'ari, And Arief Rahman Hakim. 2005. *Desain Generator Magnet Permanen Untuk Sepeda Listrik*.
 9. Bustami, Bastian dan Nurlaela. 2010. *Akuntansi Biaya. Edisi Kedua*. Jakarta: Mitra Wacana Media.
 10. Cahyadi, Dr. 2015. *PLTU Batubara Superkritikal Yang Efisien*. Tangerang Selatan: Balai Besar Teknologi Energi, BPPT.
 11. Carter dan Usry. 2006. *Akuntansi Biaya. Edisi 13*. Buku Satu Jakarta: Salemba Empat.
 12. Choiri, A., Sabilillah, E., & Umar, S. T. (2018). *Analisis Pengaruh Pembebanan terhadap Efisiensi Transformator 20kV/150kV di PLTU Cilacap Unit 1&2 2x300 MW PT. Sumber Segara Primadaya Cilacap* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
 13. Daryanto. 2002. *Pengetahuan Teknik Listrik*. Jakarta: Bumi Aksara.
 14. Frick, Heinz, dan Setiawan, Pujo, L. 2002. *Ilmu Konstruksi Perlengkapan dan Utilitas Bangunan 4*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
 15. Ghaisan, Malik. 2017. *Elemen Primer*. Diakses 13 Agustus.
 16. Habibah. 2006. *Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)*. Jakarta.
 17. IAI. 2007. *Standar Akuntansi Keuangan*.
 18. Kadir, Abdul. 2010. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: UI Press.
 19. Khalid, Mochamad, F. 2016. *Sejarah Listrik Dunia Dan Indonesia*. Universitas Negeri Malang.
 20. Latifianto, A. *Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Kondensor (Vakum) Terhadap Efisiensi Heat Rate Turbin Uap Di Pt. Pjb (Pembangkit Jawa Bali) Pltu Ketapang 10 Mw*. Jurnal Mahasiswa Prodi Teknik Mesin, 1(1).

21. Leda, Jeremias. 2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Gas Ujung Pandang*. Makassar.
22. Lintang, G. G. *Analisis Pengaruh Perubahan Beban Genarator Terhadap Efisiensi Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Aplikasi Pada PLTU Pangkalan Susu 2 x 220 MW)*.
23. Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
24. Mirza,D.A.(2019). *Pengembangan Generator Listrik Sederhana Sebagai Media Pembelajaran Fisika Pada Materi Induksi Elektromagnetik* (Doctoral Dissertation, Uin Raden Intan Lampung).
25. Panjaitan, R. 2000. *Mesin Listrik Arus Bolak Balik*. Bandung: Tarsito.
26. Prabowo, A. A., & Murni, M. (2015). *Evaluasi Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Pada Boiler Unit 10 Pltu 1 Jawa Tengah Rembang (Evaluation Of Load Effect On Efficiency Of The Boiler Unit 10 Pltu 1 Jawa Tengah Rembang)* (Doctoral Dissertation, D3 Kerjasama PT. PLN Bidang Teknik Mesin).
27. Sanjayaputra.A. 2013, April. *Generator AC And DC, Miscellaneous Subjects, & Preparing Equipments Specifications*.
28. Setyawan, W. (2014). *Analisa Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator PLTU di PT PJB Unit Pembangkitan Muara Karang* (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana).
29. Sijabat. 2010. *Jurnal PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas)*. Palembang.
30. Sinulingga, Adi Apri. 2009. *Pengaruh Perubahan Beban Generator Listrik Terhadap Efisiensi Kinerja PLTU*. Tugas Akhir. Medan: Universitas Sumatera Utara.
31. Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitaif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
32. Sulasno. 2009. *Teknik Konversi Energi Listrik Dan Sistem Pengaturan*. Semarang: Graha Ilmu.
33. Supriyono. 2011. *Akuntansi Biaya Pengumpulan Biaya dan*

Penentuan Harga Pokok, Buku 1

Edisi 2. Yogyakarta: BPFE.

34. Syahrir, dkk. 2015.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Jeneponto 2 x 125 MW.

35. Zuhaili. 1991. *Dasar Tenaga*

Listrik. Bandung: ITB.